

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-217363

(43)Date of publication of application : 10.08.2001

(51)Int.Cl. H01L 23/373
H01L 25/07
H01L 25/18

(21)Application number : 2000-027318

(71)Applicant : HITACHI LTD

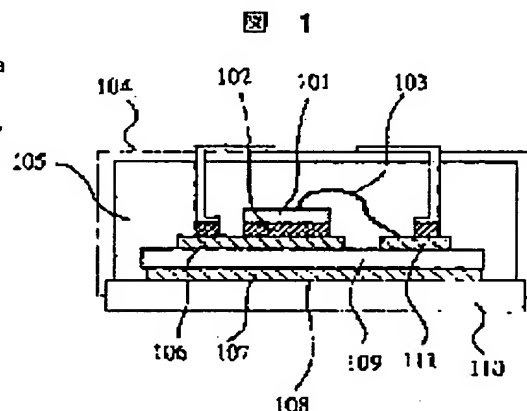
(22)Date of filing : 31.01.2000

(72)Inventor : SAITO RYUICHI
KONDO YASUO
KANEDA JUNYA
SUZUKI KIYOMITSU

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE AND ITS HEAT SINK**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a heat sink, a semiconductor device having excellent assembling performance and high reliability and thermal conductivity, and the structure of a power converter or a high frequency transistor employing it.

SOLUTION: In the semiconductor device comprising a semiconductor element, wiring for inputting/outputting signals, and a heat dissipating plate, the heat dissipating plate is made of a composite material of Cu and at least one kind of particles of Cu₂O, Al₂O₃ and SiO₂ and a metal layer bonded to an insulating substrate or the semiconductor element is bonded directly to the heat dissipating plate.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 13.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3452011

[Date of registration] 18.07.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-217363
(P2001-217363A)

(43) 公開日 平成13年8月10日 (2001.8.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 L 23/373		H 0 1 L 23/36	M S F 0 3 6
25/07		25/04	C
25/18			

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-27318(P2000-27318)

(22) 出願日 平成12年1月31日 (2000.1.31)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 齋藤 隆一

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 近藤 保夫

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

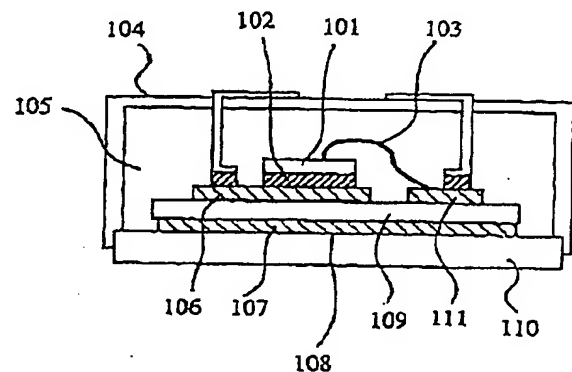
(54) 【発明の名称】 半導体装置とそのヒートシンク

(57) 【要約】

【課題】組立て性に優れ、高信頼性と高熱伝導性を有するヒートシンク、半導体装置、及び、これを用いた電力変換装置あるいは高周波トランジスタ装置の構造を提供する。

【解決手段】半導体素子と、信号を入出力する配線と、放熱板とを有する半導体装置において、前記放熱板はCuとCu₂O、Al₂O₃及びSiO₂の少なくとも1種の粒子との複合材であり、絶縁基板に接合されている金属層、あるいは半導体素子に接合されている金属層は放熱板と直接接合されている。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体素子と、信号を入出力する配線と、金属層が接合された絶縁基板と、放熱板とを有する半導体装置において、前記放熱板と絶縁基板に接合されている金属層は直接接合されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】半導体素子と、信号を入出力する配線と、絶縁基板と、放熱板とを有する半導体装置において、前記放熱板と絶縁基板は直接接合されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項3】金属層を有する半導体素子と、信号を入出力する配線と、放熱板とを有する半導体装置において、前記放熱板と半導体素子に接合されている金属層は直接接合されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項4】前記放熱板は熱膨張係数が 1.5×10^{-6} ℃以下、熱伝導率が 130 W/mK 以上、ヴィッカース硬度が300以下であることを特徴とする請求項1～3記載の半導体装置。

【請求項5】前記放熱板はCuとCu₂Oとの複合材からなることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項6】前記放熱板はCuとCu₂O、Al₂O₃及びSiO₂の少なくとも1種の粒子との複合材であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項7】前記Cu₂Oの結晶粒はCuの結晶粒の加工方向に延伸していることを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項8】前記金属層はCuよりなり、前記CuとCu₂O、Al₂O₃及びSiO₂の少なくとも1種の粒子との複合材からなる放熱板と直接接合していることを特徴とする請求項1、3～7のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項9】前記放熱板は内部に冷媒を通す空隙を有するフィンが設けられていることを特徴とする請求項1～8記載の半導体装置。

【請求項10】前記放熱板は裏面に空冷フィンが設けられていることを特徴とする請求項1～8記載の半導体装置。

【請求項11】前記放熱板に設けられたフィンは板厚方向に平行な薄い放熱部フィンとフィン空隙が繰り返し配置されたものであって、放熱部フィン厚さとフィン空隙間隔の少なくともいずれかは2mm以下であり、好ましくは1mm以下であることを特徴とする請求項9～10記載の半導体装置。

【請求項12】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は断面の面積率が前記粒子の全体の95%以上が互いに連なった複雑形状の塊となって分散している

ことを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【請求項13】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は単独で存在する粒子の数が断面で $100 \mu\text{m}$ 四方内に100個以下であり、残りの前記化合物粒子は互いに連なった複雑形状の塊となって分散していることを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【請求項14】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子はヴィッカース硬度が300以下であることを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【請求項15】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、20℃での熱伝導率 $1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 当りの20～150℃での平均熱膨張係数の増加率が0.025～0.035ppm/℃であることを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【請求項16】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は互いに連なり塊となって分散しており、前記塊は塑性加工によって伸ばされた方向に延びていることを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【請求項17】放熱板と絶縁基板が直接接合されている一体型ヒートシンクにおいて、放熱板は銅と酸化銅粒子とを有し、前記酸化銅粒子は断面の面積率で前記粒子の全体の95%以上が互いに連なった複雑形状の塊となって分散していることを特徴とする半導体装置用ヒートシンク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置、及び半導体装置用ヒートシンクに関する。

【0002】

【従来の技術】電子デバイスによる電力やエネルギーの変換、制御に関連した技術、特にオン、オフモードで用いられる電力用電子デバイスとその応用技術としての電力変換システムがパワーエレクトロニクスシステムである。

【0003】電力変換のため、各種のオン、オフ機能を持つ電力用半導体素子が用いられている。この半導体素子としては、pn接合体を内蔵し、一方向のみの導電性をもつ整流ダイオードをはじめ、種々のpn接合の組合せ構造により、サイリスタ、バイポーラトランジスタ、MOSFET等が実用化され、更には絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ(IGBT)やゲート信号によりターンオフ機能を併せもつゲートターンオフサイリスタ

(GTO)も開発されている。

【0004】これらの電力用半導体素子は、通電により発熱し、その高容量化、高速化に伴い発熱量も増大する傾向にある。発熱に起因する半導体素子の特性劣化、短寿命化を防止するためには、放熱部を設け、半導体素子及びその近傍での温度上昇を抑制する必要がある。銅は、熱伝導率が $393\text{ W/m}\cdot\text{K}$ と大きく、かつ低価格であるため、放熱部材として一般に用いられている。しかし、電力用半導体素子を備える半導体装置の放熱部材は、熱膨張率が $4.2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ のSiと接合されるため、熱膨張率がこれに近い放熱部材が望まれる。銅は熱膨張率が $17\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と大きいため、半導体素子との半田接合性は好ましくなく、MoやWといった熱膨張率がSiと近い材料を放熱部材として用いたり、半導体素子と放熱部材の間に設けたりしている。

【0005】一方、電子回路を一つの半導体チップ上に集積させた集積回路(IC)は、その機能に応じたメモリ、ロジック、マイクロプロセッサ等に分類される。ここでは電力用半導体素子に対し、電子用半導体素子と呼ぶ。これらの半導体素子は、年々集積度や演算速度が増加し、それに伴い発熱量も増大している。ところで、一般に電子用半導体素子は、外気から遮断して故障や劣化を防止する目的で、パッケージ内に収納されている。この多くは、半導体素子がセラミックスにダイボンディングされ、密封されているセラミックスパッケージ及び樹脂で封止されているプラスチックパッケージである。また、高信頼性、高速化に対応するために、複数の半導体装置を一つの基板上に搭載したマルチチップモジュール(MCM)も製造されている。

【0006】プラスチックパッケージは、リードフレームと半導体素子の端子がボンディングワイヤにより接続され、これを樹脂で封止する構造になっている。近年は、半導体素子の発熱量の増大に伴い、リードフレームに熱放散性を持たせたパッケージや熱放散のための放熱板を搭載するパッケージも出現している。熱放散のためには、熱伝導率の大きい銅系のリードフレームや放熱板が多用されているが、Siとの熱膨張差による不具合が懸念されている。

【0007】一方、セラミックスパッケージは、配線がプリントされたセラミック基板上に半導体素子が搭載され、金属やセラミックのキャップで密封する構造を持つ。さらに、セラミック基板にはCu-MoやCu-Wの複合材料あるいはコパル合金などが接合され、放熱板として用いられているが、それぞれの材料において低熱膨張化あるいは高熱伝導化とともに加工性の向上、低コストが要求されている。

【0008】MCMはSi、金属、あるいはセラミックスの基板上に形成された薄膜配線に複数の半導体素子をベアチップで搭載し、これをセラミックスパッケージに入れ、リッドで封止する構造を持つ。放熱性が要求さ

れる場合には、パッケージに放熱板や放熱フィンを設置する。金属製の基板材料として、銅やアルミニウムが使用されており、これらは熱伝導率が高いという長所を持つが、熱膨張係数が大きく半導体素子との整合性が悪い。このため、高信頼性MCMの基板にはSiや窒化アルミニウム(AlN)が用いられている。また、放熱板はセラミックスパッケージと接合されるため、熱膨張率の点でパッケージ材料と整合性が良く、熱伝導率の大きい材料が望まれている。

10 【0009】以上のように、半導体素子を搭載した半導体装置は、いずれもその動作において熱を発生し、素子温度が上昇すると半導体素子の機能を損ねる恐れがある。このため、発生する熱を外部に放散するための熱伝導性に優れた放熱板等の放熱部分が必要となる。放熱板は、直接あるいは絶縁層を介して半導体素子と接合されるため、熱伝導性だけでなく、熱膨張の点でも半導体素子との整合性が要求される。

【0010】現在用いられている半導体素子は、主にSi及びGaAsである。これらの熱膨張係数は、それぞれ $2.6\times 10^{-6}\sim 3.6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $5.7\times 10^{-6}\sim 6.9\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。これらに近い熱膨張係数をもつ放熱板材料には、従来よりAlN、SiC、Mo、W、Cu-W等が知られているが、これらは単一材料であるため、熱伝達係数と熱伝導率を任意にコントロールすることは困難であるとともに、加工性に乏しくコストが高いという問題がある。そこで特開平8-78578号公報にはCu-Mo焼結合金、特開平9-181220号公報にはCu-W-Ni焼結合金、特開平9-209058号公報にはCu-SiC焼結合金、特開平9-15773号公報にはAl-SiCが提案されている。さらに、接合材料として主に用いられる半田を省略して放熱板やセラミックス絶縁基板とを直接接合することにより、組立てを容易にし、熱抵抗を低減したセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造について、1996年国際パワーコンバージョン会議(PCIM '96 Europe)予稿集683ページにて提案されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】前記の従来公知の複合材は、両成分の比率を変えることによって熱伝達係数及び熱伝導率を広範囲にコントロールできるが、塑性加工性が低く、薄板の製造が困難であり、更に製造工程が多くなるものである。このため前記のセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造についても製造工程が多くなり、また、所望の形状によって低熱抵抗性を付与することが困難であった。また、前記公知の複合材料放熱板とセラミック絶縁基板との直接接合部位の高信頼化に適した構造についても明確ではなかった。また、前記公知の構造では半導体装置の低熱抵抗化に限界があった。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の課題を考

慮してなされたものである。

【0013】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板材料が金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は断面の面積率が前記粒子の全体の95%以上が互いに連なった複雑形状の塊となって分散していることを特徴とする。

【0014】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板材料が金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は単独で存在する粒子の数が断面で100 μ m四方内に100個以下であり、残りの前記化合物粒子は互いに連なった複雑形状の塊となって分散していることを特徴とする。

【0015】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンクは、放熱板材料が金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子はヴィッカーズ硬さが300以下であることを特徴とする。

【0016】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板材料が金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、20℃での熱伝導率1w/m \cdot K当りの20~150℃での平均熱膨張係数の増加率が0.025~0.035ppm/℃であることを特徴とする。

【0017】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板材料が金属と該金属よりも熱膨張係数が小さい無機化合物粒子とを有し、前記化合物粒子は互いに連なり塊となって分散しており、前記塊は塑性加工によって伸ばされた方向に延びていることを特徴とする。

【0018】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板材料が銅と酸化銅粒子とを有し、前記酸化銅粒子は断面の面積率が前記粒子の全体の95%以上が互いに連なった複雑形状の塊となって分散していることを特徴とする。

【0019】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、セラミック絶縁基板の表面には配線パターンが形成された表面金属層及び裏面金属層が接合されている構造であることを特徴とする。

【0020】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、セラミック絶縁基板表面金属層が銅よりなり、裏面銅金属層と銅と酸化銅粒子とからなる放熱板は固着接合されていることを特徴とする。

【0021】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置

は、セラミック絶縁基板の表面には配線パターンが形成された表面金属層が接合され、セラミック裏面には金属層が接合されておらず放熱板と直接接合されている構造であることを特徴とする。

【0022】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板内部に冷媒を通す空隙が設けられていることを特徴とする。さらに、放熱板内部に設けられた冷媒を通すための空隙は板厚方向に平行な薄い放熱部フィンとフィン空隙が繰り返し配置されたものであって、放熱部フィン厚さとフィン空隙間隔の少なくともいずれかは2mm以下であり、好ましくは1mm以下であることを特徴とする。さらに、半導体装置の放熱板には冷媒を注入、排出する接続口が設けられていることを特徴とする。

【0023】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置は、放熱板裏面に空冷フィンが設けられていることを特徴とする。さらに、放熱板裏面に設けられた空冷フィンは板厚方向に平行な薄いフィンが繰り返し配置されたものであって、フィン厚さとフィン間隔の少なくともいずれかは2mm以下であり、好ましくは1mm以下であることを特徴とする。

【0024】本発明のセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置の放熱板材料として、銅と酸化銅粒子から構成される前記のごとき材料を用いることにより、セラミック絶縁基板と放熱板の熱膨張係数差を小さくすることができるため、温度変化時のセラミック絶縁基板-放熱板直接接合部分やセラミックへの熱応力を低減でき、接続信頼性が高くなる。また、温度変化時のそりも低減できる。さらに、銅と酸化銅粒子から構成される材料ではヴィッカーズ硬さが300以下であるため、セラミック絶縁基板と放熱板の熱膨張係数差が無視できない値である場合においても銅と酸化銅粒子から構成される放熱板が変形することにより熱応力が緩和され、直接接合部分やセラミックの劣化が避けられる。これと同時に前記材料の熱伝導率が高いため放熱性能が高い。

【0025】また、本発明のセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置のセラミック絶縁基板は、銅等の金属からなる金属層を表面に有し、裏面銅金属層と銅と酸化銅粒子とからなる放熱板が固着接合されていることにより接合強度は著しく強固になり、接続信頼性が向上する。

【0026】また、本発明のセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク及びこれを用いた半導体装置の放熱板は、放熱板内部に水などの冷媒を通すための冷却フィンまたは裏面に空冷フィンを設けているため効率的な放熱が可能となる。とりわけ銅と酸化銅粒子から構成される前記のごとき材料を用いているため加工性が容易なことから、放熱部フィン厚さとフィン空隙間隔の

少なくともいずれかは2mm以下であり、好ましくは1mm以下にすることが容易なため熱伝達率の高いフィンが形成でき、放熱性能をさらに高くすることができる。

【0027】また、放熱板内部に水などの冷媒を通すための冷却部を設けてあって、放熱板には冷媒を注入、排出する接続口が設けられているため電力変換装置の構成が容易である。

【0028】

【発明の実施の形態】本発明の実施例を以下図面を用いて説明する。

（実施例1）図1は本発明に係る半導体装置の断面図であり、例えばパワー半導体モジュールである。半導体素子101は例えばIGBTやパワーMOSであり、セラミック絶縁基板109、放熱板110上に搭載されている。半導体素子101の裏面は半田などの接合材102によってセラミック絶縁基板109上の表面金属配線パターン106に接続されている。チップ表面側はA1等からなる太線ワイヤ103によってチップ表面電極とセラミック絶縁基板109上の金属配線パターン111が接続されるといった公知の構造となっている。チップ表面はゲルやモールドレジン105によりコーティングされ、各電極端子は外部引き出し端子に接続され、これらはプラスチック製のケース104内に実装されている。本発明においては、これらのモールドレジン105とケース104が一体材料で構成されたトランスファモールド構造でもよい。このようなパワー半導体モジュールが熱伝達グリース等を介して電力変換器の共通ヒートシンク上に実装され、通電配線バーを接続することにより電力変換装置が構成されている。本実施例の特徴の一つとするところはパワー半導体モジュールの裏面側で放熱を行う部分の構造に関するものである。すなわち、セラミック絶縁基板109裏面の金属層107は放熱板110に直接接合され一体化直接接合構造ヒートシンクとなっている。すなわちセラミック絶縁基板109裏面の金属層107と放熱板110の間には接合材としての半田はなく接合界面108で直接接合している。セラミック絶縁基板109は例えばAlNからなり、表裏面には例えばCuからなる金属層106、111、107があらかじめ銀ロウなどの公知の方法で接合されている。裏面Cu金属層107の表面にはNi等の通常用いられるメッキ層はない。放熱板110はCuとCu₂O粒子から構成されており、従って熱処理を施すことによってCu金属層107と金属接合を形成し、強固な直接接合部位108を構成している。

【0029】ここで、放熱板材料についてさらに詳述する。放熱板110は熱膨張係数が $15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下、熱伝導率が $130 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、ヴィッカーズ硬度が300以下である。材料は、例えば銅(Cu)と第一酸化銅(Cu₂O)との複合材からなる。特に、放熱板材料は、Cu₂Oを20~80体積%含むCu合金からなり、前記Cu₂O相及びCu相がそれぞれ分散した組織を有し、室温から300℃における熱膨張係数が $5 \times 10^{-6} \sim 14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 及び熱伝導率が $30 \sim 325 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であるものが好ましい。表1に本材料の組成に対する熱膨張係数と熱伝導率を示している。Cu₂Oの含有率が30wt%の場合は熱膨張係数が $13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下、熱伝導率が $230 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、ヴィッカーズ硬度が300以下であり、Cu₂O含有率が40wt%の場合は熱膨張係数が $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下、熱伝導率が $180 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、ヴィッカーズ硬度が300以下である。また、CuとAl₂O₃の複合材、CuとSiO₂の複合材、あるいはCuとCu₂OとAl₂O₃の複合材など、上記の数値範囲を満たすものであるならばどのような材質でもかまわない。図10は熱伝導率(x)と熱膨張係数(y)との関係を示す線図である。図中のNoはサンプルNoである。これらの関係は $y = 0.031x + 4.65$ によって求められる値以上で、 $y = 0.031x + 5.95$ で求められる値以下となる。従って、傾斜は20℃の熱伝導率 $1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 当りの20~250℃での平均熱膨張係数として $0.025 \sim 0.035 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ とするものが好ましい。

【0030】前記Cu₂Oの結晶粒は放熱板110の厚さ方向に平行に配向されていることが望ましい。すなわち、Cu₂Oを20~80体積%含む、前記Cu₂O相及びCu相が配向した組織を有し、室温から300℃における熱膨張係数が $5 \times 10^{-6} \sim 14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、また熱伝導率が $30 \sim 325 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ で、かつ配向方向の熱伝導率が配向方向に直角な方向の2倍以上とするものが好ましい。配向した組織とするには例えば鍛造法が用いられる。表2は、レーザーフラッシュ法による熱伝導率の測定結果を示すが、鍛造しない焼結のままの状態では、熱伝導率の異方性は認められない。しかし、鍛造することによって異方性が生じ、Cu相及びCu₂O相の配向方向（鍛伸方向）に対して平行なL方向の熱伝導率は、それに直角なC方向（鍛造方法）の2倍以上の値を示している。

【0031】

【表1】

表 1

No.	組成(体積%)		熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 (W/m. k)
	Cu	Cu ₂ O		
1	20	80	5.5	41
2	30	70	7.0	83
3	40	60	8.4	93
4	45	55	9.3	116
5	50	50	10.1	138
6	60	40	10.8	183
7	70	30	12.8	229
8	80	20	13.8	280

【0032】

【表2】

表 2

	熱伝導率(W/m. k)	
	L方向	C方向
焼結	111	108
焼結—鍛造	152	87

【0033】金属層が接合されているセラミック絶縁基板109と放熱板110はあらかじめ直接接合処理を行って一体化直接接合構造ヒートシンク部材として扱う方が好ましい。図5は一体化直接接合工程を示したものである。すなわち、表面のCu合金層が効ローなどにより接合されたAlN等のセラミック絶縁基板109をNi等のメッキを施さない状態にて準備し、メッキを施さない状態のCu-Cu₂O複合材からなる放熱板110に接合する。接合には例えば不活性雰囲気中の熱処理法を用いる。熱処理によりCu-Cu₂O複合材表面とCu金属層表面が接合部位108にて金属結合を形成する。このような直接接合処理後Niメッキなどを施し、一体化直接接合構造ヒートシンクが形成される。このような工程の代わりに条件を適宜設定することにより、Cu-Cu₂O複合材の焼結あるいは鍛造時点にセラミック絶縁基板をセットして焼結あるいは鍛造と接合を同時に行えば一体化ヒートシンクの形成はさらに容易である。一体化直接接合構造ヒートシンクは放熱板110をハンドリングできるため取り扱いが容易でセラミックへの衝撃によるセラミック割れが起りにくい。従って、セラミック厚さを通常用いられる0.635mmよりも薄くして熱抵抗をさらに低減することができる。この際、放熱板110としてCu-Cu₂O複合材を用いているためセ

ラミック絶縁基板109との熱膨張係数差が小さいことにより、また、ヴィッカーズ硬さが300以下であるため熱膨張係数差が無視できない値である場合においてもCu-Cu₂O複合材が熱応力により変形することにより、セラミック側への応力が緩和されセラミック割れやクラック等の劣化が避けられる。

【0034】図2(a)は上記の直接接合処理プロセスを鑑みて示している実施例であり、図1との差異はセラミック絶縁基板が放熱板150に埋め込まれた形状となっていることにある。このような構造はCu-Cu₂O複合材の焼結あるいは鍛造時点にセラミック絶縁基板をセットして焼結あるいは鍛造と接合を同時に行うプロセスにより特に容易に実現しやすいものである。この場合、セラミックが露出した縁面部分の絶縁性が確保するために、放熱板材料がセラミック絶縁基板109のセラミックが露出した表面部分にまで回り込まないことが必要である。このような構造とすることにより半導体チップ101直下の放熱板150の厚さを薄くすることが可能なため熱抵抗が小さくなり、放熱性がさらに向上する。

【0035】さらに他の構造として図2(b)に示すように放熱板160はセラミック絶縁基板109の下部には存在せずセラミック絶縁基板109の周辺にのみ一体化接合されていてもよい。この場合、Cu-Cu₂O複合材放熱板160とセラミック絶縁基板109裏面の金属層107との直接接合は周辺部161、162にてなされる。この構造の場合には放熱性はさらに向上する。

【0036】以上のように、金属層が接合されているセラミック絶縁基板109とCu-Cu₂O複合材放熱板110が直接金属接合されているため、接合部分の接合信頼性が高く、また、半田がなくセラミック厚さも薄くできることから熱抵抗も低減でき、さらに、あらかじめ直接接合処理を行って一体化直接接合構造ヒートシンク

を形成することによりその後の組立てが容易になるという効果がある。

【0037】また、セラミック絶縁基板に接合されている金属層としてCu以外の金属、例えば、Alの場合でも接合条件を適宜設定すればCu-Cu₂O複合材放熱板との直接接合は可能である。

【0038】以上では、Cu-Cu₂O複合材放熱板とセラミック絶縁基板の表面金属層との直接接合構造を説明しているが、裏面金属層は必ずしも必須のものではない。すなわち、セラミック絶縁基板のセラミック表面とCu-Cu₂O複合材を直接接合する構造でも構わない。この場合の接合方法は、銀ローをロー材として用いる方法やMn等のメタライズをあらかじめセラミックに施し接合する方法や直接接合する方法でもよい。いずれの方法でもCu-Cu₂O複合材を放熱板に用いることによる前出のような効果は同様に達成される。

【0039】尚、セラミック絶縁基板はAlNの法にAl₂O₃、BeOなど他の材質でも本発明の構造が適用できるのは言うまでもない。尚、それぞれ熱膨張係数が異なるため、放熱板との熱膨張係数差を例えば5×10⁻⁶ /℃以下に設定するなどの配慮が必要である。

(実施例2) 図3は本発明に係る半導体装置の他の実施例の断面図である。半導体チップ101は例えばIGBTやパワーMOSであり、その他主要部分の構造は図1と同様である。本実施例では複数のモジュールを実装する時の共通ヒートシンクは必要なく、パワー半導体モジュールのセラミック絶縁基板-放熱板一体化直接接合構造ヒートシンク210の放熱板内部に冷却用のフィンが設けられている。冷媒には例えば水が用いられ、パワーモジュールを底面から見た図である図4に示したように、注入口301、排出口302を放熱板底面に設けて冷却水が循環される。冷却フィンの寸法、すなわちフィン部122の厚さ寸法と空隙部121の間隔寸法は循環冷却水用ポンプの能力等によっても影響されるため一概には決まらないが、一般的には微細寸法にすることによりフィンの熱伝達係数が増加し、放熱能力が向上する。本発明では冷却フィンが形成される放熱板にCu-Cu₂O複合材を用いているため加工が容易であり、微細なフィンを容易に形成できる。すなわち従来のCu放熱板では1mm程度の肉厚及び間隔形成が限界だったのに対し、0.3mm程度の肉厚及び間隔形成も容易である。このため、熱伝達係数は約2倍とすることが可能であり、放熱性能が容易に向上できる。

【0040】尚、フィン高さ、すなわち放熱板の厚さ方向の設定も熱伝達係数に影響を及ぼすため適宜設定されることが必要である。前述のようにCu-Cu₂O複合材の配向を制御し、放熱板の板厚方向、すなわち、フィン高さ方向の熱伝達率を高くする構造とすることが放熱上好ましい。この場合、フィンのアスペクト比(フィン高さ/フィン幅)の設定はフィン材料の熱伝達率の異方

率(フィン高さ方向(放熱板板厚方向)熱伝達率/フィン幅方向(放熱板面方向)熱伝達率)に対応して設定する。通常均質なフィン材料の場合のアスペクト比は7前後程度に設定されるが、例えば、放熱板への配向性の付与により熱伝達率の異方率が1以上となった場合、アスペクト比は熱伝達率の異方率と正の相関をもって設定される。すなわち、熱伝達率の異方率が2の場合、アスペクト比の最適値は通常の最適値より増加し、1~2倍の値に設定される。

【0041】セラミック絶縁基板-放熱板一体化直接接合構造ヒートシンク210の加工方法の一例を図6に示す。板状の、例えば、4mm厚程度の放熱を準備し、放熱板にフィンを切削加工する。その後、1mm厚程度の導板171を加工面に直接金属接合する。この際セラミック絶縁基板109との接合熱処理と同時にを行うと工程が簡便である。最後に、フィン内部及び表面の金属部全体にNiなどのメッキを行う。フィン内部もメッキを行うことによって冷却水による腐食が効果的に防止できる。尚、このような工程の代わりにセラミック絶縁基板109と放熱板との接合熱処理後、放熱板にフィンを切削加工し、その後に導板171を接合する工程でもかまわない。

【0042】図4では破線にて放熱板内部の構造が示しており、上記の微細なフィンは直線状のパターン303となっている。注入口301、排出口302付近には微細なフィンパターンはなく、水が広がり、また、集まりやすくなっている。図示はしていないが半導体チップ101は熱伝達係数が大きい微細フィンパターン部303の位置に配置されると放熱性が向上するため好ましい。

尚、パワー半導体モジュールは取り付け部304にて電力変換器の実装板に取り付けられる。

【0043】このようなパワー半導体モジュールの適用にはなんら制限が加わるものではないが、本実施例の水冷一体化モジュールは電気自動車やハイブリッド電気自動車に好適である。すなわち、これらのシステムでは水冷機構をすでに備えている場合が多いため、この水冷循環系に本発明のモジュール冷却を組入れればよい。

(実施例3) 図7は本発明に係る半導体装置の他の実施例の断面図である。半導体チップ101は例えばIGBTやパワーMOSであり、その他主要部分の構造は図1と同様である。本実施例では共通ヒートシンクは必要なく、パワー半導体モジュールのセラミック絶縁基板-放熱板一体化直接接合構造ヒートシンクの放熱板710背面に空冷用のフィンが設けられている。空冷フィンはCu-Cu₂O複合材放熱板で構成されている。空冷フィンの幅722及び間隔721及びこれらの高さは空冷ファンの能力や気流の方向にも影響されるため一概には決まらないが、前述実施例2と同様にCu-Cu₂O複合材を用いることによって微細なフィンパターンが形成可能

は、冷媒が必要でなく自然空冷や強制空冷と言った簡便な方法で冷却できるため電力変換システムを安価にすることができる。

【0044】上記の実施例1、2、3ではパワー半導体モジュールで説明しているが、これに限定する必要がないことは言うまでもない。すなわち、金属層が表面に接合された部材と放熱板を有するものであれば本発明の直接接合構造を採用でき、高い放熱性と信頼性を確保できる。例えば、半導体チップが半導体論理素子とする場合、本発明構造を適用することにより論理素子の動作周波数を向上させてもチップの温度が限界以上に上昇することがなくなり、論理処理速度を向上できる。この場合の構造は基本的に図1の半導体チップ101を上記素子に置き換えたものであるが、チップ表面接続構造や端子やモールド構造など本発明の対象とする部位以外の構造は適宜公知の構造が適用されてよい。また、半導体素子はメモリーやシステムLSIやパワー素子等の他の素子であっても同様の効果が得られる。

(実施例4) 図8は本発明の他の実施例の高周波半導体素子の断面図を示したものである。SiあるいはGaAs等からなる高周波半導体チップ801はCu-Cu₂O複合材からなるベース基板814上に直接接合されている。高周波半導体チップ801表面の電極はワイヤ803によって端子804に接続されている。端子804はセラミックやガラスからなる絶縁材805でロウ材810、812を用いて封止されている。さらに枠体806、シール材807がロー材812で接合され、シール材807と蓋体808と溶接接合されることにより高周波半導体素子が完成する。高周波半導体チップ801の裏面には金属層813が設けてあり、この金属層813は例えばCuから構成されている。前記の実施例と同様に金属層813とCu-Cu₂O複合材からなるベース基板814は金属接合されている。また、Cu-Cu₂O複合材からなるベース基板814には水冷冷却フィン802が設けられている。高周波半導体チップ801は高周波、高出力で動作させるため発生する熱を効率よく放散する必要があり、また、温度上昇によるチップ801への熱応力や温度変化による繰り返し熱歪みを低減することが必要である。ベース基板814が熱膨張係数が $1.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下、熱伝導率が $130\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 以上の材料、例えば、Cu-Cu₂O複合材から構成され、これが高周波半導体チップ801に直接接合されているため放熱性がよく、また、高周波半導体チップ801との熱膨張係数差が小さいため熱応力が小さい。従っ

て、高周波半導体素子を高周波、高出力で効率よく安定に動作させることができ高信頼性を確保できる。また、水冷冷却フィン802を設けることにより放熱性能はさらに向上している。図9は本実施例の高周波半導体素子の内部構造を示す斜視図を示している。Cu-Cu₂O複合材で高周波半導体チップが囲まれているため電磁シールドとして機能し、電磁ノイズが漏洩することなく安定に動作できる。

【0045】また、高周波半導体素子はSiやGaAsとしたがGaN、SiC、ダイヤモンド等の他の高周波半導体素子であっても同様の効果が得られる。また、本発明の構造は接合信頼性が高いため、200℃から500℃といった高温で動作可能な半導体チップを搭載する場合にも好適である。

【0046】

【発明の効果】以上に述べたように本発明によれば、組立て性に優れ、高信頼性と高熱伝導性を有するセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンク、これを用いた半導体装置、及び、これを用いた電力変換装置あるいは高周波トランジスタ装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る半導体装置の断面図。

【図2】本発明に係る半導体装置の断面図。

【図3】本発明に係る半導体装置の断面図。

【図4】本発明に係る半導体装置の底面斜視図。

【図5】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンクの製造工程説明図。

【図6】本発明に係るセラミック絶縁基板-放熱板直接接合構造ヒートシンクの製造工程説明図。

【図7】本発明に係る半導体装置の断面図。

【図8】本発明に係る半導体装置の断面図。

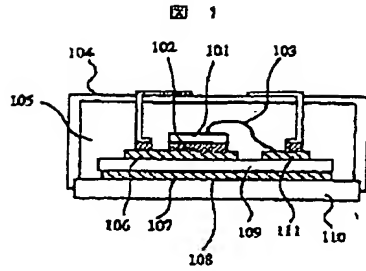
【図9】本発明に係る半導体装置の断面図。

【図10】熱膨張係数と熱伝導率との関係を示す線図。

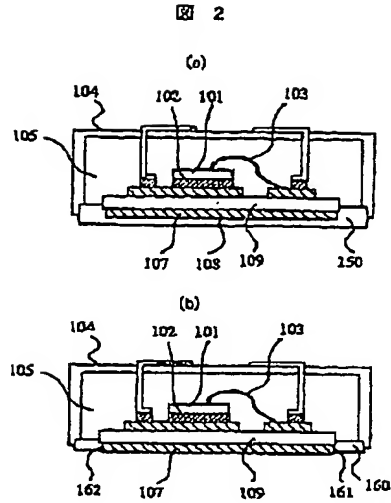
【符号の説明】

101、801…半導体素子、102…半田、103…ワイヤ、104…ケース、105…ゲルまたはモールドレジン、106、107、111…セラミック絶縁基板上に接合された金属層、108…金属層と放熱板の接合面、109…セラミック絶縁基板、110、150、160、210、710、814…放熱板、122、722…放熱フィン、301、302…冷媒注入排出口、804…端子、813…半導体チップに接合された金属層。

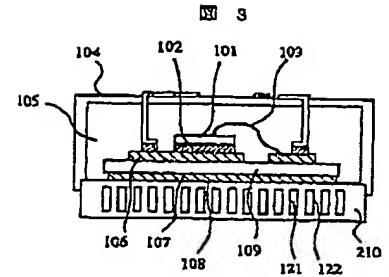
【図1】



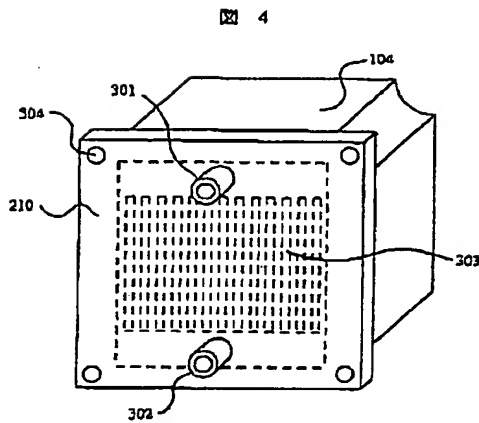
【図2】



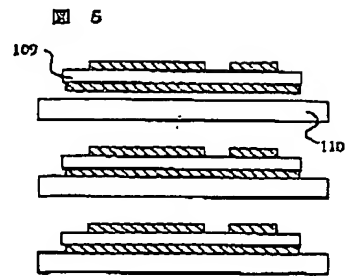
【図3】



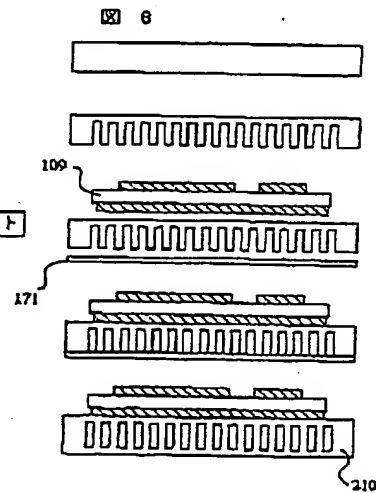
【図4】



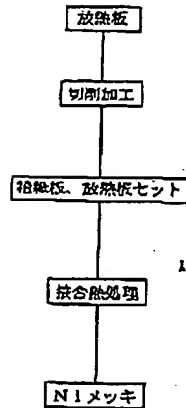
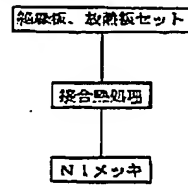
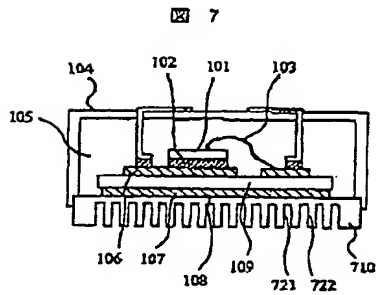
【図5】



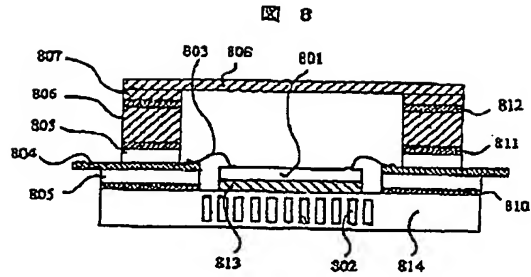
【図6】



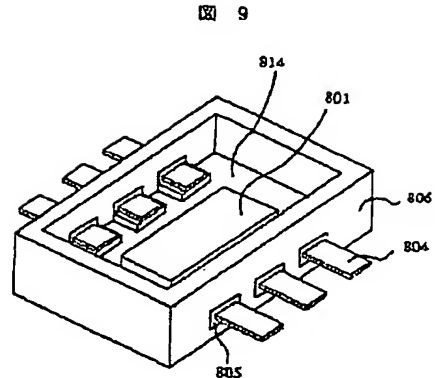
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

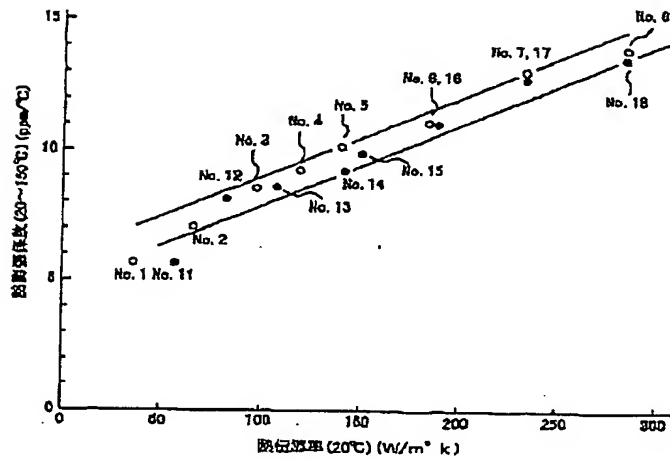


図 10

フロントページの続き

(72) 発明者 金田 潤也

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 鈴木 清光

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内Fターム(参考) 5F036 AA01 BA10 BA24 BA26 BB05
BB41 BC05 BC06 BD01 BD11
BD13